

高周波用低損失複合磁性材料とそれを用いた小型アンテナの高性能化に関する研究

著者	白方 恭
号	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4358号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61461

氏 名	白 方 恭
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 技術社会システム専攻
学 位 論 文 題 目	高周波用低損失複合磁性材料とそれを用いた小型アンテナの 高性能化に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 須川 成利
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 須川 成利 東北大学教授 伊藤 隆司 東北大学客員教授 大見 忠弘 東北大学准教授 寺本 章伸 (未来科学技術共同研究センター)

論 文 内 容 要 旨

携帯電話の急激な普及拡大の背景要因には、通信速度の高速化や通信容量の拡大、あるいは使用周波数のマルチバンド化及び搭載システムのマルチモード化など、端末利用者の利便性向上のための様々なサービス向上と端末機器の性能向上が挙げられる。このような無線通信サービスの多様化に伴い電子部品は基板上の限られた狭小スペースに高密度実装されることを余儀なくされており、アンテナにおいてもできるだけ高性能で小型なものが必要とされている。アンテナ小型化技術の一つに誘電材料や磁性材料を利用する手法があるが、従来の磁性材料は UHF 帯のような高周波帯域における磁気損失が大きいなどの課題があるためこれまで殆ど利用されてこなかった。本研究は、これらの問題を解決するために、高周波利用における従来の磁性材料や携帯電話端末用小型アンテナが抱えている課題を明らかにし、1GHz 以下の UHF 帯領域において高透磁率及び低損失特性を示す複合磁性材料を提案するとともに、複合磁性材料を利用した小型アンテナの高性能化を実現するための技術指針を示すことを目的として行われた。

第 1 章では、本研究の位置づけと目的を示した。

携帯電話端末用アンテナに対する社会的要請としてできるだけ高性能で小型なものが求められている。アンテナ小型化技術の一つに誘電材料や磁性材料を利用する手法が知られているが、従来の磁性材料は高周波における損失が大きいなどの課題があり、アンテナを小型化するための材料として適しているとはいえなかった。そこで本研究では、金属微粒子を絶縁樹脂中に高密度分散した複合磁性材料を提案した。複合磁性材料によれば飽和磁化を大きく保ちつつ渦電流の生成を抑制できるため、従来の磁性材料および小型アンテナが抱えている課題が解決できる可能性があることを示した。また複合磁性材料を利用して小型アンテナの高性能化を実現する場合に、材料特性として要求される仕様の中でも特に低損失化が必須であることを示した。

第 2 章では、複合磁性材料の電気的、磁気的な諸特性を明らかにするとともに、複合磁性材料の高周波における高透磁率化、低損失化を実現するための研究指針を提言し、その有効性を実証した。

まず従来の磁性材料の高周波化を阻んでいる要因を抽出し、それらの課題を克服するために次に示す 4 つの研究指針を提案した。

1. 磁性粒子の大きさを表皮深さ以下にし、電流の生成を抑制する
2. 絶縁樹脂中に磁性粒子を高密度分散させる
3. 反磁場係数の低い扁平形状粒子を一方向に配列させる
4. 粒子表面を樹脂で被覆し、粒子の再凝集を防止する

樹脂中に分散する金属材料としては、磁気異方性や磁歪定数が小さく、直流透磁率が大きいなど優れた磁気特性を示す材料の一つである Ni-Fe 合金を用いた。上記指針をもとに、粒径 $0.15\ \mu\text{m}$ の Ni₇₈Fe₂₂ 合金粒子を出発原料粒子として、分散媒体を利用して扁平化した粒子を樹脂中に高密度分散することにより、複合磁性材料の高周波における高透磁率化と低損失化が可能なことを実証した (図 1)。

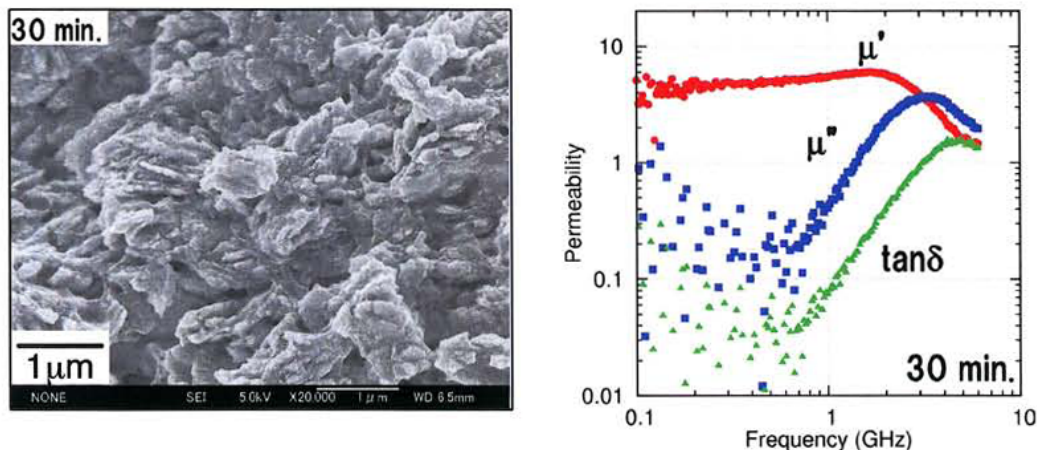


図 1 Ni₇₈Fe₂₂ 複合磁性材料の断面 SEM 写真及び透磁率特性

また、この 78Ni-Fe 合金に第 3 成分として Zn を添加した Zn₅Ni₇₅Fe₂₀ を出発原料とした場合は、扁平化の際に特定の結晶面で優先的に形状制御が生じ、扁平面の長軸方向と磁化容易軸が一致するため、扁平粒子を一方向に配列することでさらなる高透磁率化が達成できることを実証した。さらに粒子の分散過程において粒子の表面に樹脂被膜を施すことで粒子の再凝集が防止されることを見出し、分散粒子が微細化されてより一層の低損失特性が得られることを実証した (図 2)。また得られた複合磁性材料の誘電率特性を明らかにし、扁平粒子の配列方向による異方性が見られることを示した。

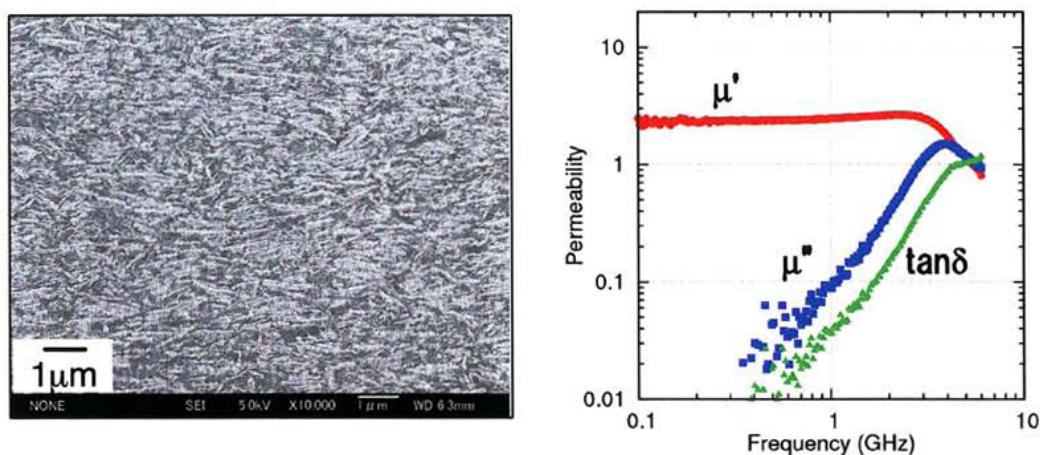


図 2 Zn₅Ni₇₅Fe₂₀ 低損失複合磁性材料の断面 SEM 写真及び透磁率特性

第 3 章では、複合磁性材料を携帯電話端末用アンテナに装荷することの有用性を確認するとともに、小型アンテナの高性能化に向けた磁性材料の適用方法に対する技術指針を示した。

モノポールアンテナやホイップアンテナのような線状アンテナはアンテナ放射素子の周りに強い磁場が生じることから、その部分に複合磁性材料を配置することにより大きな波長短縮効果が得られ、また同時に放射抵抗を上昇させることができることを示した。ヘリカルアンテナの場合はコイル内部に磁場が集中するため、コア材

として低損失複合磁性材料を用いた場合はセラミック材料を用いた場合に比べて大幅な小型化が可能であることを示した。一方で UHF 帯で共振する超小型アンテナを携帯電話端末程度のサイズの導体地板に取り付けた場合は、放射抵抗が非常に低くなるため内部損失の影響が無視できなくなり、特に磁性材料を用いた場合は小型化の度合いは大きい材料損失の影響も大きくなるため、従来アンテナ構造のまま単純に誘電材料を磁性材料に置き換えただけではアンテナの性能を高めることは難しいことが分かった。その解決策として、例えば無給電素子を付加するなど、アンテナの構造を工夫して放射抵抗を大きくすることにより、相対的に材料損失の影響を減らすことができ、そのようなアンテナに磁性材料を装荷した場合は、従来のインダクタなどを用いたアンテナよりも放射効率を高めることができることを実証した(図 3)。

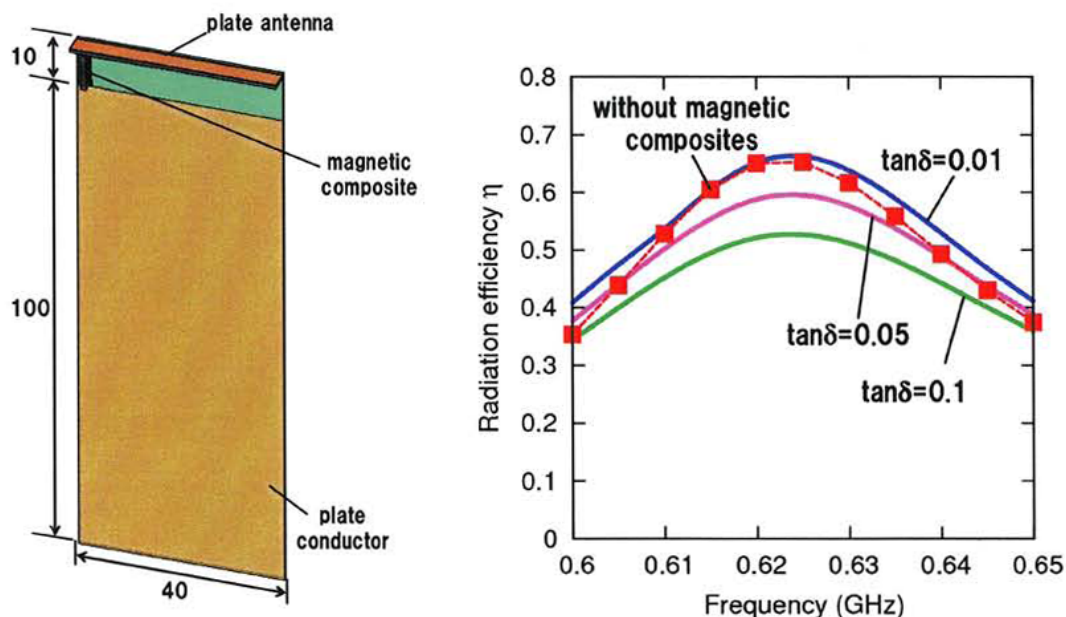


図 3 複合磁性材料により構成される無給電素子を付加した板金アンテナとその放射効率

第 4 章では、本研究の成果について総括した。本研究は 1GHz 以下の UHF 帯領域において高透磁率及び低損失特性を有する複合磁性材料を提案するとともに、複合磁性材料を利用した小型アンテナの高性能化に対する技術指針を示したものであり、本研究を通して得られた知見と成果を活用することで、今後ますます重要となる携帯電話端末用アンテナの小型化と高性能化の実現に大きく貢献できることを示した。

論文審査結果の要旨

無線通信周波数帯の多様化が進む携帯電話端末機器において、高性能で小型のアンテナの搭載需要はますます増加している。アンテナ小型化技術の一つに高透磁率をもつ磁性材料や高誘電率をもつ誘電材料を利用する手法があるが、UHF 帯のような高周波帯域に適合できるものはなかった。本論文は、こうした背景に鑑み、1GHz 以下の UHF 帯領域において高透磁率及び低損失特性を有する複合磁性材料を提案するとともに、複合磁性材料を利用した小型アンテナの高性能化を実現するための技術指針を示したものであり、全文 4 章からなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、複合磁性材料の電氣的・磁氣的な諸特性を明らかにし、複合磁性材料の高周波における高透磁率化、低損失化を実現するための手法について論じている。バルクで優れた磁気特性を示す材料として知られている Ni78Fe22 合金の粒径約 0.15 μm の球状粒子をジルコニアビーズとともに高速遊星攪拌して扁平化し、樹脂中に高密度分散することにより、複合磁性材料の高周波における高透磁率化、低損失化が可能であることを明らかにしている。またこの合金に第 3 成分として Zn を添加した Zn5Ni75Fe20 合金微粒子を利用すれば、扁平粒子を一方向に配列することでさらなる高透磁率特性を示すことを明らかにしている。さらに、粒子の分散過程において粒子表面に樹脂による被膜を施すことにより、粒子の再凝集が防止され、分散粒子が微細化されてより一層の低損失特性が得られることを実証している。また得られた複合磁性材料の誘電率特性を明らかにし、扁平粒子の配列方向による異方性があることを示している。これらは極めて重要な成果である。

第 3 章では、複合磁性材料を携帯電話端末用アンテナに装荷したときの有効性を確認するとともに、磁性材料を利用した小型アンテナの高性能化に向けての技術指針について論じている。モノポールアンテナやホイップアンテナのような線状アンテナは、アンテナ放射素子の周りに強い磁場が生じることから、その部分に複合磁性材料を装荷することにより大きな波長短縮効果が得られ、また同時に放射抵抗を上昇させることができることを示している。ヘリカルアンテナの場合はコイル内部に磁場が集中するため、コア材として低損失複合磁性材料を用いることにより、セラミック材料を利用した場合に比べて大幅な小型化が可能であることを示している。一方で携帯電話端末程度の導体地板サイズしか確保できない場合は、UHF 帯で共振させるようにした小型アンテナは放射抵抗が非常に低くなり内部損失の影響が無視できなくなるため、従来アンテナ構造のまま誘電材料を単純に磁性材料に置き換えただけではアンテナの性能を高めることは難しいことを明らかにすると同時に、その解決策として、アンテナの放射抵抗を大きくすることにより相対的に材料損失の影響を減らし、さらに低損失複合磁性材料を装荷することにより従来アンテナよりも高性能化が図れることを実証した。これらは極めて有用な成果である。

第 4 章は、結論である。

以上要するに本論文は、1GHz 以下の UHF 帯領域において高透磁率及び低損失特性を有する複合磁性材料を提案するとともに、複合磁性材料を利用した小型アンテナの高性能化に対する技術指針を示したものであり、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。